

# 中国科学院深圳先进技术研究院 2018 年在工程科学方面的一些研究进展

(中国科学院深圳先进技术研究院认知技术研究中心、汽车电子研究中心、高性能计算技术研究中心、空间信息研究中心、异构智能计算体系结构与系统研究中心、生物医学信息技术研究中心、《集成技术》编辑部)

**关键词** 手术辅助机器人；芯片；深度图；分辨率重建；决策方法；编码效率；MODIS；监控数据；性能大数据；步态认证；血氧/脉率采集

中国科学院深圳先进技术研究院认知技术研究中心齐晓志博士、胡颖研究员及其团队主导的研究<sup>[1]</sup>在鼻内镜手术辅助机器人方面取得进展(基于禁止型虚拟夹具约束的鼻内镜手术辅助机器人安全随动控制研究)。传统鼻内镜手术模式是医生左手持镜，右手持手术器械进行操作，医生手部长时间肌肉绷紧引起的颤抖将会带来鼻内镜画面的不稳定及潜在危险。而机器人辅助鼻内镜手术可以代替医生持镜从而形成双手操作模式。针对当前机器人缺乏基于鼻腔空间的安全约束及智能式随动模式，该文设计了一种基于双曲面柔性虚拟夹具约束的机器人伺服随动控制算法，更好地实现其辅助手术时的安全性与智能性。通过采集鼻腔附近空间关键点位置，进而拟合空间圆面，最终基于双曲面参数构建虚拟夹具。其中，基于该虚拟夹具，通过经配准后的NDI 红外定位装置，在跟随模型框架的基础上完成跟随运动控制。实验结果发现，该虚拟夹具在机器人辅助实验中具有良好的安全约束特性，同时实现了智能式跟随运动，具有良好的人机交互特性，大大节省手术时间。

中国科学院深圳先进技术研究院汽车电子研究中心李慧云研究员及其团队主导的研究<sup>[2]</sup>在芯片内部可靠性和安全性监测方面取得进展(基于压缩感知和线性整数规划的故障注入探测方法)。摩尔定律推动下的集成电路工作电压和节点电容逐渐降低，大幅度减小了节点翻转所需的

临界电荷。无论是在地面还是在空间辐射环境，单粒子效应已经成为危害芯片可靠性和安全性的最大挑战之一。现有芯片的单粒子效应测试要求测试工程师在辐射源辐照下长时间反复扫描抽检芯片，且仅凭输出结果来分析和判断芯片内部的可靠性或安全性。这样的测试方法费时费力、容易误检漏检，且不能有效地帮助防御设计。为了解决现有测试方法的弊端，该团队利用芯片内部敏感点具有稀疏性的这一特性，采用压缩感知技术(CS)和线性整数规划方法(ILP)对芯片的安全性和可靠性展开研究。通过压缩感知技术构建内部故障点信号矩阵和随机观测矩阵，搭建随机观测系统，从而能够以较少的扫描寄存器和测试向量，对芯片的漏洞进行系统全面的测试评估，快速判断该芯片的安全程度，同时定位芯片的薄弱点。结果显示，该方法将压缩感知和故障注入技术结合来构造随机观测系统，大幅降低传统方法中需要的传感器或探测器数量，且采用线性整数规划技术能够通过算法分析准确、高效地重构出芯片中的敏感单元。该文建立了芯片抗单粒子可靠性检测的新方法和新模式，解决了现有芯片单粒子效应测试效率低，容易误检漏检的问题。该方法可无损、便捷、不依赖设计或测试人员经验对芯片进行辐照效应安全和可靠性检测。该研究不仅能够推进集成电路领域的基础研究，全面提高我国研发、测试集成电路的水平 and 效率，还可广泛应用于其他研究领域，如信息安全、光学、

材料学和空间科学的科学研究。

### 中国科学院深圳先进技术研究院高性能计算技术研究中心张云研究员及其团队参与的研究<sup>[3]</sup>

在深度图超分辨率重建方面取得进展(面向三维视频系统的基于加权局部稀疏表示的深度图超分辨率重建)。在 3D 系统中, 由于深度图采集设备限制, 深度图的分辨率一般小于其相应纹理图, 同时生成算法获取的深度图与对应纹理图尺寸虽一致但存在诸多噪声。由于带宽限制, 深度图常采用降分辨率编码方式, 但低分辨率的深度图难以保证绘制视点的质量, 故无法提供良好的视觉体验。因此, 该研究面向 3D 系统, 针对低分辨率深度图重建高分辨率深度图, 采用字典学习方法, 考虑虚拟视点图像质量, 结合虚拟视点失真模型, 利用深度图纹理区域和平坦区域具有不同的虚拟视点绘制性能这一特性, 提出一种加权局部的稀疏表示的深度图超分辨率重建方法。结果显示, 在现有的公共 3D 序列测试集, 该文中提出的 3 种方案在虚拟视点绘制质量上可以分别平均提高 1.9 dB、2.03 dB、2.16 dB, 同时视觉质量也得到了有效的改善。该方法可以提供一种在带宽限制条件下重建深度图绘制虚拟视点的有效方案, 可以为用户提供交互感和沉浸感更强的视觉体验, 可广泛应用于 3DTV、自由视点系统、可视会议、虚拟现实(VR)等场景。

### 中国科学院深圳先进技术研究院高性能计算技术研究中心张云研究员及其团队主导的研究<sup>[4]</sup>

在高效编码单元大小决策方法取得进展(基于数据驱动的高效编码单元大小决策方法用于 HEVC 帧内编码)。为了提高编码效率、减少编码复杂度, 该研究提出一种更高效的、针对 HEVC 的编码单元分割及帧内预测的编码方法。利用机器学习强大的数据模式判别能力, 结合离线学习和在线学习方案, 提出了一种高效数据驱动的 HEVC 帧间编码单元(CU)尺寸决策方法。该方法包括两个阶段的基于支持向量机(SVM)的

4 个 CU 决策层的快速帧内编码单元(CU)决策方案。结果显示, 在最新的 HEVC 参考平台上实验, 在仅考虑第一阶段分类时, 对不同的序列平均复杂度均有显著降低, 不同序列降低为 27.15%~66.29%, 平均复杂度降低了 47.30%。在同时使用两个阶段分类时, 在不同序列上复杂度降低为 36.29%~80.53%, 平均达到 52.48%。对同时使用两个阶段分类进行比较发现, 复杂度降低提升了 8.99%。该研究所提出的算法在复杂度降低方面效果显著且优于目前其他先进算法, 具有广泛应用前景, 包括超高清视频在现阶段市场与产业的推广及应用。

### 中国科学院深圳先进技术研究院空间信息研究中心陈劲松研究员及其团队主导的研究<sup>[5]</sup>

在 MODIS 海表产品降尺度方法研究取得进展(基于时空数据融合及回归模型的 MODIS 海表产品降尺度方法研究: 以海表叶绿素为例)。对近海水域叶绿素 a 浓度空间变化的准确描述是海洋生态和环境研究的重要组成部分。美国国家航空航天局提供的每日 MODIS 叶绿素 a 产品, 空间分辨率为 1 km, 适用于海洋表层水环境的全球监测。但这些产品 1 km 的空间分辨率像元过于粗糙, 在实践中无法应用于近海水域水色信息的获取。该研究提出一种将 MODIS 叶绿素 a 产品从 1 km 空间分辨率缩小到 30 m 的方法: 采用时空数据融合模型 U-STFM 和回归模型 NASA OC2M-HI 对 Landsat 和 MODIS 的纹理和叶绿素 a 信息进行组合。该研究选择中国东北渤海渤海湾水流快速运动的区域和香港深圳海域作为实验区。搜集来自 MODIS Aqua 和 Landsat 8 的五年内的 12 景匹配图像, 来预测目标时刻的海表遥感反射率(Rrs)。而目标时刻真实的 Landsat 8 Rrs 被用作地面校验真值数据。结果显示, 最终预测(30 m)保持了 MODIS 叶绿素产品的准确性, 并大大改善了近海水域附近的局部纹理细节。该研究结果表明, 基于 U-STFM 图像融合模型和 NASA 的

OC2M-HI 回归模型, 可以将每日低空间分辨率 (1 km) MODIS 叶绿素 a 产品降尺度为更高分辨率 (30 m) 的产品, 从而更好地理解近海水域叶绿素 a 浓度的动态模式。该研究可为大规模动态获取近岸海域海表参数信息、动态监测海水变化, 及对赤潮监测、海水质量监测等实际业务需求提供方法和数据支撑。

**中国科学院深圳先进技术研究院异构智能计算体系结构与系统研究中心喻之斌研究员及其团队主导的研究<sup>[6]</sup>**在监控数据视角方面取得进展 (半容器协同云工作负载的弹性和可塑性: 以阿里巴巴的监控数据视角为例)。以大规模数据中心为基础设施的云计算为终端用户提供了极大的便利和成本效益, 但云数据中心的资源利用率却非常低。虽然云提供商通常会让更多应用程序共享资源, 以提高资源利用率, 但却带来了另一个问题——云服务质量无法保证。因此, 在云平台中同时提高资源利用率和保证服务质量是一个严峻的挑战。要解决上述问题, 分析来自实际生产型云计算平台中的应用程序特征非常重要。该文分析了 2017 年阿里巴巴生产集群发布的 24 h 监控数据, 这是目前云计算基础架构中第二个公开可用的监控数据集 (第一个为谷歌 2011 年发布的数据), 它包括 1 314 台服务器和 23 000 个作业, 其中作业包括在线服务和批处理作业。结果发现了与谷歌集群监控数据 3 个显著不同的特征: (1) 每个在线服务都在容器中运行, 而批处理作业是在物理服务器上运行; (2) 在弹性方面, 阿里巴巴集群管理系统优于谷歌集群管理系统; (3) 阿里巴巴集群管理系统具有资源分配的可塑性。该文描绘了阿里巴巴生产集群的监控数据, 该数据集能帮助学术界理解实际工业应用程序的特征, 并有利于未来的长期研究工作。

**中国科学院深圳先进技术研究院异构智能计算体系结构与系统研究中心喻之斌研究员及其团队参与的研究<sup>[7]</sup>**在挖掘性能大数据方面取得进展

(计数器挖掘器: 从硬件计数器中挖掘性能大数据)。现代处理器通常提供少量硬件性能计数器来捕获大量微体系结构事件, 这些计数器能够很容易地产生大量 (GB 或 TB) 数据, 我们称之为性能大数据。性能大数据虽然能够为性能瓶颈、体系结构和编译器优化等问题分析提供宝贵的基础, 但由于存在很多不可感知的错误和难以理解的问题, 从中提取有用价值极具挑战。该文提出了计数器挖掘器 (CounterMiner), 一种通过使用数据挖掘和机器学习技术来测量和理解性能大数据的方法。它包括 3 个组件: (1) 数据清理器——通过替换异常值和填充缺失值的方法来提高数据的质量; (2) 重要性量化分析和排序器——根据事件在性能方面的重要性, 迭代地量化、排序和忽略不重要的事件; (3) 交互强度量化分析与排序器——通过残差量化两个事件之间地交互强度。该文通过使用 16 个测试程序来评估 CounterMiner 的性能。结果显示, 当在 4 个硬件计数器上复用 10 个事件时, CounterMiner 将平均误差从 28.3% 降低到了 7.7%。该文还实施了一个真实的案例研究, 相应结果表明, 按事件重要性识别 Spark 程序的重要配置参数比直接对这些参数的重要性进行排序快 4 倍。该研究对于指导云计算平台的体系结构和应用程序的跨层性能优化具有非常大的价值。

**中国科学院深圳先进技术研究院生物医学信息技术研究中心李焯研究员及其团队主导的研究<sup>[8]</sup>**在自适应步态认证方法取得进展 (基于加速度传感器的速度自适应步态认证方法用于可穿戴物联网设备)。基于可穿戴物联网设备中集成的加速度传感器的步态识别技术是近年来发展起来的一门新兴技术, 并已在固定步速情况下具有较高的识别性能。但在实际应用中, 当人的步速变化时, 现有技术的识别率急剧下降。针对这一问题, 该文提出了基于速度自适应步态周期分割和个体化阈值的身份识别技术, 以解决步速变化



对身份识别性能的影响,减小个体步态差异性对识别准确率和认证时间的影响。实验在包含 5 个身体部位加速度信号的公共数据集 ZJU-GaitAcc 和包含不同步行速度下加速度信号的实测数据集上,分别研究了传感器节点位置和步行速度对步态识别率和用户认证准确率的影响。实验结果表明,所提出技术的平均步态识别率和身份认证准确率分别为 96.9% 和 91.75%;与现有的基于固定步速和恒定阈值的步态识别方法相比,该方法在步态识别和身份认证准确率上分别提升了 25.8% 和 21.5%。该研究对提高基于加速度传感器的步态识别和身份认证在可穿戴设备中的应用具有重要意义。

中国科学院深圳先进技术研究院生物医学信息技术研究中心李焱研究员及其团队主导的研究<sup>[9]</sup>在可穿戴血氧/脉率采集模拟前端电路取得进展(低功耗动态范围缓解的可穿戴血氧/脉率采集模拟前端电路)。光电容积技术被广泛地用于可穿戴设备检测血氧饱和度和脉率。该文提出了基于光电容积原理的血氧/脉率检测的低功耗模拟前端集成电路,旨在通过实施高通滤波电路,有效地实施血氧生理信号中交流和直流信号的分离采集,解决模拟前端芯片检测光电容积信号过程中需要高输出动态范围要求的问题,从而降低芯片的功耗。所提出的芯片在 CMOS0.18 $\mu\text{m}$  工艺下设计并制造,并实施了血氧/脉率算法校准,最后通过测试演示进行功能评估。结果显示,芯片实现了较低的功耗,能够精确检测脉率,并且检测的血氧饱和度误差 $<1.5\%$ 。该研究提出的新低功耗设计方法,可促进医疗芯片在可穿戴检测设备的推广应用。

## 参 考 文 献

- [1] Zheng QW, He YC, Qi XZ, Zhang P, Hu Y, Li B. Safety tracking motion control based on forbidden virtual fixtures in robot assisted nasal surgery [J]. IEEE Access, 2018, 6: 44905-44916.
- [2] Li HY, Shao CP, Wang Z. Detecting fault injection attacks based on compressed sensing and integer linear programming [J]. IEEE Transactions on Dependable & Secure Computing, 2018, doi:10.1109/TDSC.2018.2821140.
- [3] Zhang H, Zhang Y, Wang HL, Ho YS, Feng SZ. WLDISR: weighted local sparse representation-based depth image super-resolution for 3D video system [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2019, 28(2): 561-576.
- [4] Zhang Y, Pan ZQ, Li N, Wang X, Jiang GY, Kwong S. Effective data driven coding unit size decision approaches for hevc intra coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2018, 28(11): 3208-3222.
- [5] Guo SX, Sun B, Zhang HK, Liu J, Chen JS, Wang JJ, Jiang XL, Yang Y. MODIS ocean color product downscaling via spatio-temporal fusion and regression: the case of Chlorophyll-a in coastal waters [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2018, 73: 340-361.
- [6] Liu QX, Yu ZB. The elasticity and plasticity in semi-containerized co-locating cloud workload: a view from Alibaba trace [C] // Proceedings of ACM Symposium on Cloud Computing (SOCC), 2018.
- [7] Lv YR, Sun B, Luo QY, Wang J, Yu ZB, Qian XH. CounterMiner: mining big performance data from hardware counters [C] // International Symposium on Microarchitecture (MICRO). 2018.
- [8] Sun FM, Mao CF, Fan XM, Li Y. Accelerometer-based speed-adaptive gait authentication method for wearable IoT devices [J]. Internet of Things Journal, 2018, doi:10.1109/JIOT.2018.2860592.
- [9] Zhang H, Li Y. A low-power dynamic-range relaxed analog front end for wearable heart rate and blood oximetry sensor [J]. IEEE Sensors Journal, 2018, doi:10.1109/JSEN.2018.2872083.